

稻穀調質乾燥技術之研究

The Study of the Tempering Technique for Rough Rice

國立中興大學農機系副教授

陳加忠

Chiachung Chen

台灣省農業試驗所農工系技士

曹之祖

Chih-Tsu Tsao

摘要

乾燥技術為影響稻米品質之主要因子。因此乾燥機作業應以提高品質為導向。調質乾燥開始為日本乾燥機廠商所採用已有十年，但其控制策略尚未有文獻資料可循。調質乾燥與傳統乾燥機乾燥方式並不相同，目的在於提供穀物於乾燥過程中內部水份梯度充份回復之機會。進行調質作業時，稻穀自最初含水率乾燥至預設含水率即停止乾燥，在休止一段設定時期後，重新開機再進行乾燥。此技術之主要影響因子在於開始調質時穀物含水率狀態與休止之設定時間。此研究目的即在於探討國內主要稻穀品種執行調質乾燥所需之作業策略。研究項目包括：調質乾燥基本試驗，休止所需時間試驗，循環式乾燥機實際調質作業性能。在品質之比較指標為重胴裂率。乾燥機影響性能包括耗油率，乾減率與總作業時間。研究結果顯示均化所需時間與穀物含水率有二項方程式之關係。稻穀含水率為18—20%時所需均化時間約2—3小時。利用指數函數量化乾燥曲線，並以乾燥常數比較乾燥速率之結果顯示調質乾燥可增加乾燥速率，且對胴裂增加率有疏解效果。以循環式乾燥機進行調質二次乾燥之作業，乾燥性能顯示可提高乾減率，減少耗油量與實際作業時間。

關鍵詞：乾燥，調質，性能測定，循環式乾燥機。

ABSTRACT

Drying technology has the significant effect on the rice quality. The improvement of the quality become the guide to develop the dryers. The tempering drying technology has been adopted by the Japan's dryer manufactures for nearly ten years, however, the optimum control strategy could not be found in the literatures. For the tempering drying, rice kernels were dried from initial moisture content to a predeterminating moisture content, then the dryer was shutted down. After resting for a specific period, the dryer turned on and the drying processing continued. The affecting factors for the tempering technique are the predeterminating moisture content for resting and the resting period. The purpose of this research is to study the optimum

strategy of tempering drying for the major variety grown in Taiwan. The items of this reasearch include the basic testing of tempering dry, the test of required resting period, and the performance of circulating rice dryer using tempering technique. The affecting performance of dryer include the fuel-consuming rate, drying rate, and practical drying time. The results obtained from this study indicate that the relationships between required tempering period and grain moisture content was a polynomial equation. The required tempering period of grains that moisture ranging from 18 to 20 % was 2 to 3 hours. The exponential equation was adopted to express the relationships of the drying curves. The parameter of drying constant was used to compare the drying rate. Tempering technique can increase the drying speed. The cracking increase rate was reduced. The drying test of circulating rice dryer used the tempering, two-stages drying technique showed that the formance has been improved.

Keywords : Drying, Tempering, Performace test, Circulating dryer.

前 言

國內之稻穀收穫後處理作業已接近完全機械化之階段，乾燥作業之目標也自以機械化節省人力進而改進成增加控制機構以節省能源與提高品質。近年來，國內逐漸注重生活品質之提昇，對食米之食味要求為之增加，良質米成為稻作生產之目標。影響食米之食味有許多因子如品種，產地、氣候、栽培方式、乾燥加工與炊煮方式。其中與機械設備最為相關之項目為乾燥加工技術。因此如何利用適當之乾燥技術以提昇米質成為農機研究人員致力之研究項目之一。

以提昇米質為指標之乾燥技術已有數類研究：例如以熱風溫度控制乾減率，以大氣氣溫調整加溫之熱風溫度，或依乾燥倉內盛穀量以調整循環時間（陳氏，1995）。近年來，循環式乾燥機調質乾燥技術已逐漸為日本乾燥機廠商所採用，然而其應用策略尚未有完善之研究。

調質 (tempering) 乾燥之英文與均化 (tempering) 乾燥相同，但在乾燥技術之應用策略上則有所差別。均化乾燥係指稻穀於乾燥機內間歇式加熱，以一段時間（例如 10 分鐘）通過加熱乾燥層，再另一段時間（例如 60 分鐘）經循環用輸送器通過均化層，經由均化作用，使穀粒內水份梯度得以疏解，減少連續加熱引起胴裂之機率。在均化乾燥過程中，稻穀含水率自高而低，而其乾燥／均化之時間均維持一定。

調質乾燥為稻穀均化乾燥過程中特殊處理技術。在調質作業中，乾燥機停止作業，稻穀本身保持靜置狀態，因此無熱風加溫作用。在休止 (resting) 一段時間後，再重新進行乾燥作業。在此段休止時期，稻穀含水率少有變化。調質乾燥之主要作業策略在於兩項：(一) 稻穀開始休止之含水率、(二) 休止之所用時間。

典型之調質乾燥以日本山本公司之乾燥方式圖示如圖 1。傳統均化方式乾燥時稻穀含水率變化如圖上連續乾燥曲線 1。在調質乾燥作業方式下，稻穀含水率減少至 18% 時，乾燥機停止運轉，在休止 2 至 6 小時後再開始運轉，乾燥至最後含水率。含水率變化曲線如圖上曲線調質乾燥之特點依日人之研究如下 (久保田，1986)：

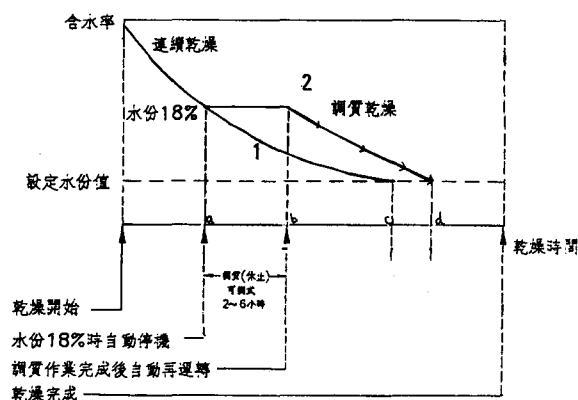


圖 1. 調質乾燥示意圖

1. 稻穀於加溫乾燥過程中，得以休止一段時期，使內部水份充分恢復均勻，減少胴裂而提高米質。
2. 稻穀自身於田間成熟時，含水率並非完全均勻，利用調質作業可使水份分佈更平均。
3. 調質乾燥雖然增加休止時間（圖 1 中 ab 段），但因單粒穀粒內部水份成均勻分佈，再乾燥時，可縮短原先所需時間（bd 段小於 ac 段）。因此總作業增加時間有限。

雖然調質乾燥對於乾燥後米質之提昇已有報導，但其實施方式卻未一致，其最佳作業策略需要自行研究。以日本主要之乾燥機廠商其調質乾燥策略為例分別介紹如下（久保田，1986）：

1. 大島農機：穀物含水率乾燥至 18 %（濕基，以下含水率均以濕基表示）時自動停止，休止 3 小時後繼續乾燥。
2. 佐竹製作所：有兩種作業方式：
 - (1) 乾燥至 20 % 時。停止乾燥，休止 5 小時後再重新開機作業。
 - (2) 配合自動控制用控制盤，自由設定休止時間與含水率，休止開始之含水率設定範圍為 16 - 22 %，休止時間設定範圍則為 1 - 9 小時。
3. 靜岡農機：在乾燥至 18 % 時，停機 5 小時，再開始乾燥。
4. 山本製作所：開始休止之含水率與休止時間由使用者自行設定。

由上述資料可知，調質乾燥技術在日本循環式乾燥機之利用已十分普及，但其主要作業策略：休止開始之含水率與休止之時間並未有詳細之研究，主要由使用者依經驗設定。國內之乾燥機已逐漸增加自動控制之周邊設備，以提高米質為目標之調質乾燥應用策略有加以研究之必要，以提供業者參考。此研究計畫即以乾燥後米質為指標，用以進行調質乾燥作業之最適當 (Optimum) 研究。

在國內有關乾燥技術與米質之相關研究中，陳貽倫氏 (1993) 之研究顯示乾燥速率在 0.7 % / hr 時，全粒米比例最高。乾燥速率因熱風溫度與乾

燥時間所影響。陳憲民氏 (1993) 之研究結果顯示 40 °C，0.23CMM / kg 通風量，10 / 75(min) 之加熱 / 均化時間全粒米率最高：

調質乾燥之重要意義在於促使穀粒內部水份均勻化，因此內部水份是否均勻之指標建立在均化研究上十分重要。Steffe 氏 (1980a, b) 提出以穀粒間隔之空氣其相對濕度量測值為指標，但因相對濕度計之準確性能限制，此方法尚未實用化。

調質乾燥之研究重點如下：(一) 乾燥與休止時期中，穀物內部水份梯度分佈是否緩和，(二) 調質乾燥對米質之影響，(三) 調質乾燥與原傳統循環式乾燥機乾燥作業，總乾燥時間，耗油率、乾減率之比較。

此研究目的即在於探討國內主要稻穀品種執行調質乾燥所需之作業策略。研究項目如下所述：

1. 建立調質乾燥實驗裝置，以執行基本試驗。
2. 修改平衡相對濕度量測技術，用以量測調質作業時穀粒內部水份分佈均勻性之量化指標。
3. 以胴裂率為米質之量化比較標準，評估稻穀調質乾燥作業最佳策略。
4. 以循環式乾燥機進行實地乾燥方式，比較調質方式對米質，乾減率，耗油量與總作業時間之影響。

試驗材料與方式

一、研究設備

(一) 調質乾燥基本試驗

1. 使用設備

此試驗所用之設備採用陳憲民氏 (1993) 所用之稻穀樣品乾燥機裝置之設計概念加以改良裝設，並增加時間控制器 (Timer)，其基本結構如圖 2。

2. 測定材料之品種：台農 67 號

3. 試驗設計（每項處理至少兩重複）

- (1) 乾燥溫度：40 °C，50 °C
- (2) 最初含水率：28 - 30 %（濕基，此研究之含水率均以濕基表示）
- (3) 調質作業決定休止之含水率：18 - 20 %
- (4) 休止時間：0，2，3 小時

(5)最後含水率：12 - 13 %

(6)均化時間比：

- ① 10分鐘乾燥，40分鐘均化（代表符號10/40）
- ② 10分鐘乾燥，50分鐘均化（代表符號15/50）
- ③ 15分鐘乾燥，45分鐘均化（代表符號10/45）
- ④ 7.5分鐘乾燥，52.5分鐘均化（代表符號7.5/52.5）

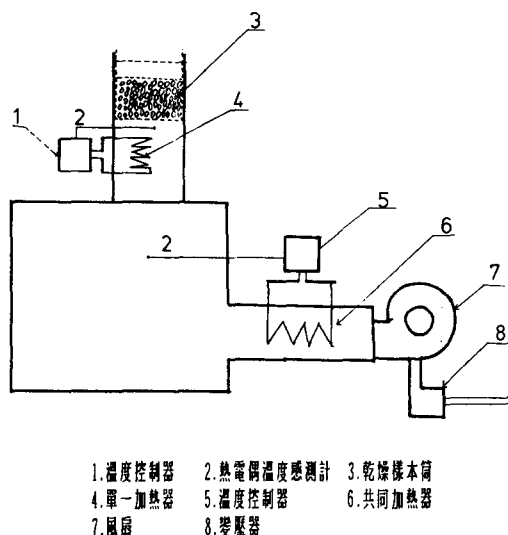


圖 2. 稻穀調質乾燥試驗裝置

4. 試驗方法

- (1) 田間收穫之稻穀去除夾雜物後送入冷藏庫。以部份樣本經烤箱量測含水率。
- (2) 試驗前回溫、靜置，並利用重量之變化為指標直到達預設最初含水率。
- (3) 樣本放置乾燥筒上，乾燥至預設時間，再取出攪拌均勻，放回乾燥筒內均化至預設時間，再進行乾燥，以模擬循環式乾燥機之作業。
- (4) 重覆步驟 C，直到稻穀乾燥至預設含水率(18, 19 或 20 %)，以重量變化之量測可得知含水率之數值。
- (5) 進行調質乾燥作業，依設定時間，停止乾燥成休止狀態(0, 2, 或 3 小時)。

(6) 到達休止時間後，恢復乾燥作業，重覆步驟 C，直到到達最後含水率(12 - 13 %)。

(7) 以乾燥過程中穀物含水率與時間之變化關係，分析其乾減速率。

(8) 將乾燥後部份樣本密封包裝四天，量測其胴裂率。每次取樣 500 粒稻穀，以人工剝取稻穀後，利用胴裂檢視器檢查輕胴裂與重胴裂比例。

(二) 乾燥作業過程中休止所需時間試驗

1. 均化指標定義

均化代表穀粒內部水份均勻性分佈。在乾燥後，穀粒之內部含水率最高，表面最低，因此均化指標可定義如下 (Sabbath et al, 1972)。

$$I = \frac{C(t) - C(t=0)}{C(t=\infty) - C(t=0)} \dots\dots\dots (1)$$

C(t)：特定時間穀粒表面含水率

C(0)：均化測定時，穀粒表面含水率

C(∞)：已到達平衡狀態下，穀粒表面含水率

由於含水率與平衡相對濕度 (ERH) 在 ERH 範圍 20 ~ 75 % 內有近似之直線關係 (陳與曹, 1990 b, 1992)，因此公式 (1) 可改為

$$I = \frac{ERH(t) - ERH(t=0)}{ERH(t=\infty) - ERH(t=0)} \dots\dots\dots (2)$$

在密閉空間內，穀層間隙其空氣水份蒸氣壓與穀粒表面蒸氣壓成平衡狀態，因此由穀層間隙之空氣平衡相對濕度之量測以取代含水率之量測，用以判別達到化所需時間。

2. 休止所需時間之計算公式

理論上，穀物達到完全均化時，內部的水份達到平衡，無梯度現象。內部水份與表面水份相同，因此表面含水率不再變化，穀物間隙的相對濕度亦成平衡狀態不再變化。此時公式 (2) 中 I 值為 100 %，而時間為無限大。在此研究中，以 I 值為 95 % 時，ERH(t) 量測時間為到達休止時間，而此時間代表穀物已完成均化業。95 % 之標準係來自預備試驗之結果，I 值對時間之分佈曲線大約於 95 % 之作業時間已趨緩和，

此初步試驗果與 Steffe 等人 (1980a,b) 之研究相同。

3. 使用設備與方法

均化時間測定之材料與試驗設計與調質乾燥基本試驗相同。

其使用設備裝置如圖 3 所示。均化時間之比值則有三種 (時間比各為 10/40, 10/50 與 10/45)

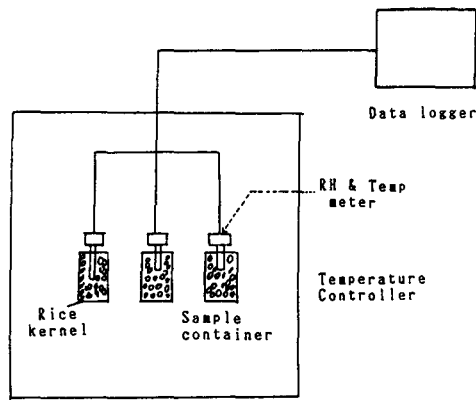


圖 3. 均化試驗裝置

試驗方法如下：

- (1) 依上述試驗調質乾燥基本試驗 (4) 試驗方法，將稻穀乾燥至預設含水率。
- (2) 取出樣本，放置於 500ml 塑膠瓶內。將濕度計插入樣本之中，放置於恆溫箱內，以恆溫箱維持設定溫度。以數據記錄器記錄相對濕度計與溫度數值，濕度計經校正後準確性 1.0% 之內 (陳與曹，1990 a)，已合乎試驗需求。
- (3) 依公式 (2) 計算均化指標數值在 95% 時，其作業時間。此技術用以評估不同含水率下，內部水份達到均化所需時間。

(三) 循環式乾燥機之調質乾燥性能

利用民間代乾中心已有之循環式乾燥機四台，機型為 CL423-H300 型。因稻穀每次收穫時含水率無法一致，且需求材料龐大，因此以同批田間收穫穀物同時執行乾燥方式比較調質乾燥之影響。二部乾燥機以傳統方式進行乾燥，另二部乾燥機在穀物乾燥至 18-19% 時休止 3 小時，以人為

操作執行調質乾燥。

乾燥前先量測樣本胴裂率，在乾燥過程中，每小時量測含水率變化值，乾燥後量測耗油量，記錄總作業時間，並抽取樣本分別量測胴裂率。

結果與討論

一、調質作業，休止所需時間

以四種均化時間比進行均化作業中，均化指標趨向平衡所需時間共有三十組。統計技術顯示均化時間比之影響並不顯著。在不同含水率與均化溫度條件之下，典型休止時間與稻穀含水率之關係曲線如圖 4。

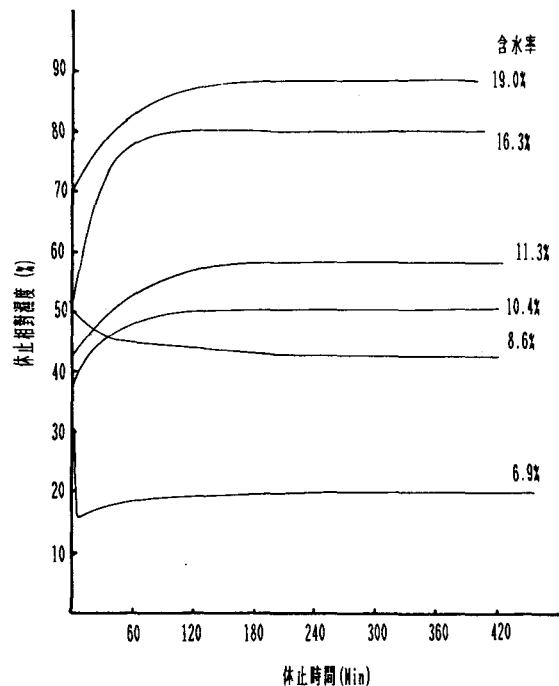


圖 4. 典型之休止時間

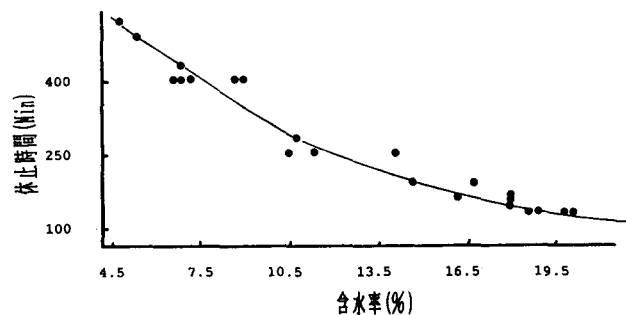


圖 5. 休止時間與稻穀含水率之關係

由圖可知，含水率愈高，均化指標I值（公式2）趨向平衡之時間愈短。合併所有數據，達到休止所需時間與含水率之關係如圖5。以線性迴歸統計技術評估休止時間(t)與含水率(M)之關係。結果顯示t與M之數學關係曲線為一項二次多項式函數：

$$t = 725.85 - 52.745 \times M + 1.155 \times M^2, R^2 = 0.965 \dots (3)$$

稻穀進行調質乾燥之含水率範圍通常為18-20%，其對應達到休止所需時間以公式(3)計算之結果各為150min與133min。可知以2.5小時可達到休止之要求。

二、調質作業對稻穀乾減率之影響

(一) 乾燥常數之定義

利用調質乾燥試驗設備量測所得之典型含水率與乾燥時間關係圖如圖6所示。圖形的分佈為典型之稻穀乾燥曲線。乾燥曲線受乾燥溫度，最初含水率，與乾燥/均化時間比值等因子所影響。

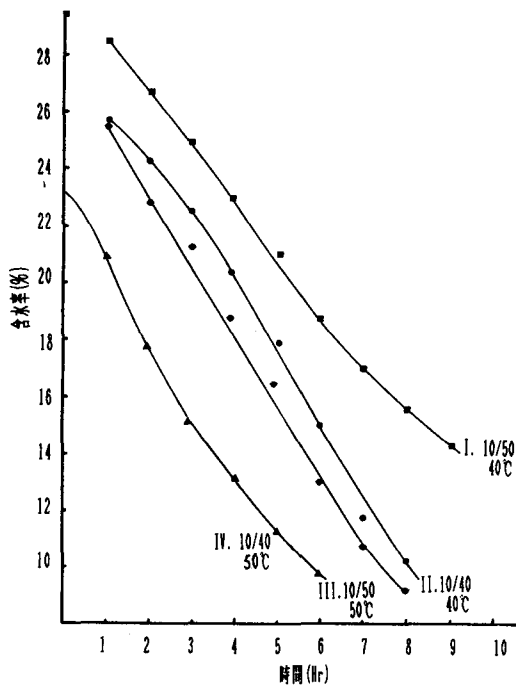


圖 6. 典型之乾燥曲線

傳統之乾燥曲線性能研究均以乾減率為比較標準。乾減率之計算方式係於乾燥曲線任選兩點，求其斜率為乾燥率。此種方式簡易，方便。但是由於乾燥曲線並非直線，以斜率計算方式受

到取樣點位置所影響，因此在此研究以完整之乾燥曲線之乾燥常數做為乾燥性能之比較基準，而乾燥常數(D)由乾燥曲線模式(Parti,1993)之定義如下：

$$M = M_0 \times \text{Exp} [-D \times t] \dots\dots\dots (4)$$

M_0 ：最初含水率（%，溼基）

M ：乾燥過程中穀物樣本之含水率（%，溼基）

t ：乾燥時間（小時）。

公式(4)之意義， M_0 代表最初含水率之影響能力， D 代表乾燥曲線之乾燥常數，以 D 值以比較乾燥性能，可避免最初含水率之影響。

公式(4)兩邊取對數後為一線性化之直線公式

$$\text{Ln}M = \text{Ln}M_0 - D \times t \dots\dots\dots (5)$$

圖6中四組乾燥曲線，以迴歸分析對公式(5)執行結果之各乾燥方程式如下：

1. 乾燥/均化時間為10/50，乾燥溫度為40°C

$$M = 30.95 \text{ Exp} [-0.0803t], R^2 = 0.975 \dots (6)$$

2. 乾燥/均化時間為10/40，乾燥溫度為40°C

$$M = 31.08 \text{ Exp} [-0.1422t], R^2 = 0.981 \dots (7)$$

3. 乾燥/均化時間為10/50，乾燥溫度為50°C

$$M = 31.08 \text{ Exp} [-0.1422t], R^2 = 0.981 \dots (8)$$

4. 乾燥/均化時間為10/40，乾燥溫度為50°C

$$M = 22.81 \text{ Exp} [-0.1268t], R^2 = 0.976 \dots (9)$$

(二) 均化時間之影響

在乾燥作業中，稻穀通過熱風進行乾燥之時間與進行均化之時間對於乾燥性能之影響可由乾燥常數加以定義比數。

1. 乾燥溫度40°C

三種乾燥/均化時間之作業下，其乾燥曲線如圖7。乾燥方程式經迴歸分析所得結果為：

(1) 15/45 作業

$$M = 38.86 \text{ Exp} [-0.1631t], R^2 = 0.983 \dots (10)$$

(2) 10/50 作業

$$M = 22.46 \text{ Exp} [-0.075t], R^2 = 0.971 \dots (11)$$

(3) 10/40 作業

$$M = 31.87 \text{ Exp} [-0.111t], R^2 = 0.974 \dots (12)$$

2. 乾燥溫度50°C

三種乾燥/均化作業下，乾燥曲線如圖8所

示。其乾燥方程式如下：

(1) 15/45 作業

$$M=41.34 \text{ Exp} [-0.164t], R^2=0.97 \dots (13)$$

(2) 10/50 作業

$$M=24.41 \text{ Exp} [-0.0911t], R^2=0.98 \dots (14)$$

(3) 10/40 作業

$$M=33.08 \text{ Exp} [-0.1422t], R^2=0.975 \dots (15)$$

由乾燥常數之比較中，同一均化作業下，以 50 °C 乾燥所得之乾燥常數均大於 40 °C 作業之乾燥常數。而三種均化作業中，15/45 作業之 D 值最高，10/40 次之，而 10/50 之作業最小。此常數之比較結果與乾燥作業性能相符合，由此可知以 D 值取代在乾燥曲線任取以計算所得之乾減率，在學理與實際應用上均十分合理。

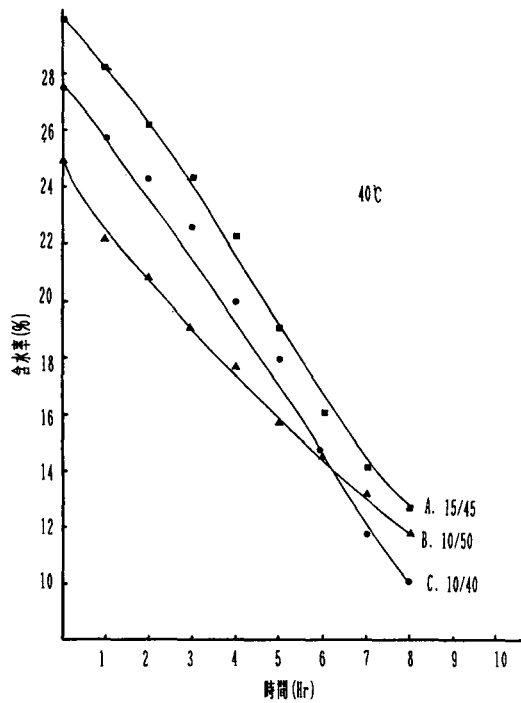


圖 7. 乾燥溫度 40 °C 時，三種均化條件之乾燥曲線

(三) 調質乾燥對乾燥性能之影響

調質作業方式對於乾燥性能之影響比較如下：

1. 15/45 作業，45 °C

連續乾燥與二次乾燥，中間調質 2 小時之兩種乾燥曲線如圖 9。乾燥方程式如下：

(1) 連續乾燥

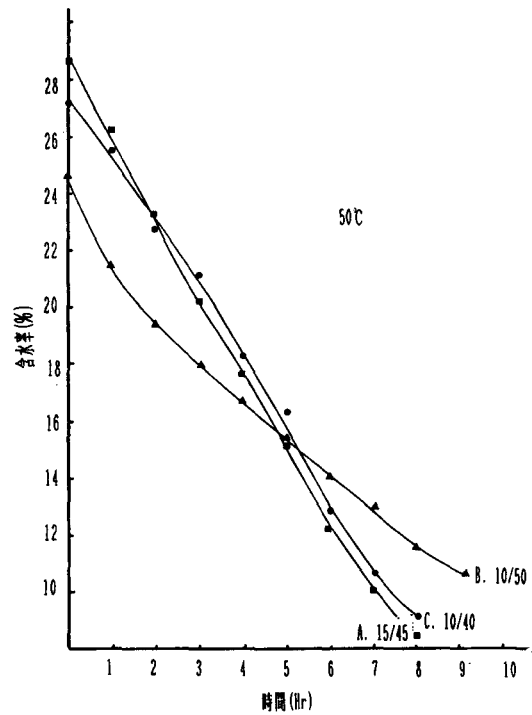


圖 8. 乾燥溫度 50 °C 時，三種均化條件之乾燥曲線

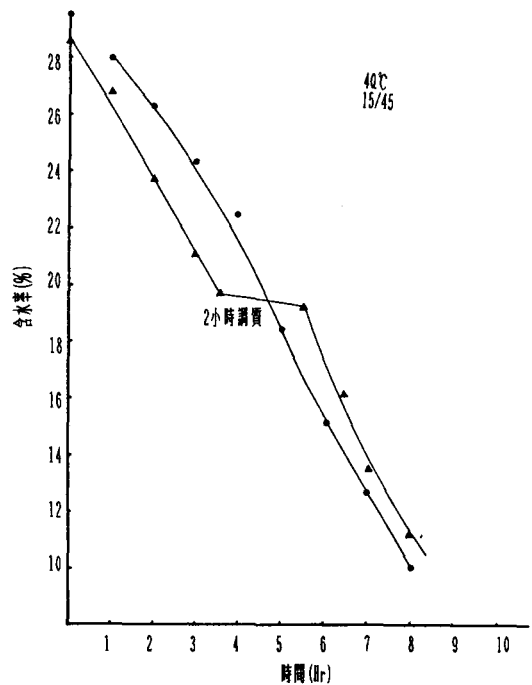


圖 9. 均化/乾燥為 15/45, 40 °C 之調質作業乾燥特性

$$M = 42.5 \text{ Exp}[-0.168t] \dots\dots\dots(16)$$

(2)調質乾燥

①調質前

$$M = 28.9 \text{ Exp}[-0.173t] \dots\dots\dots(17)$$

②調質後

$$M = 35.4 \text{ Exp}[-0.198t] \dots\dots\dots(18)$$

公式(16)與(17)中，其乾燥常數各為0.168與0.173，並無顯著差別，而公式(18)中，D值為0.198，顯示經過調質作業後，乾燥速率增大。

2. 10/50 作業，40 °C

調質作業對於乾燥性能之影響如圖 10 所示。

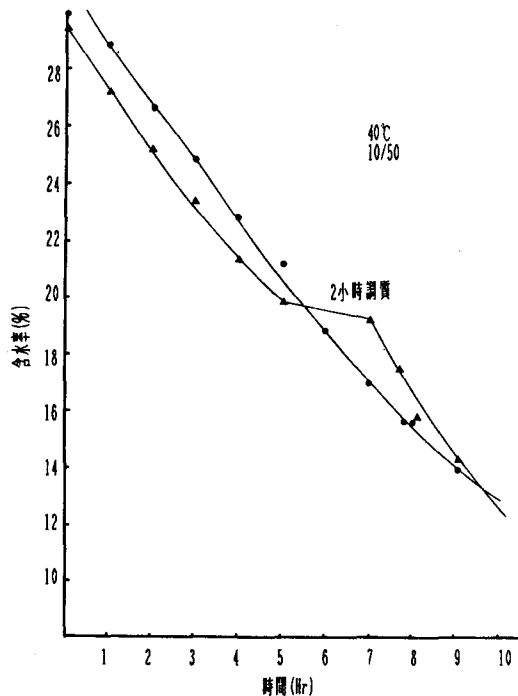


圖 10. 均化 / 乾燥為 10/50,40 °C 之調質作業乾燥特性

(1)連續乾燥

$$M = 42.95 \text{ Exp}[-0.0803t] \dots\dots\dots(19)$$

(2)調質乾燥

①調質前

$$M = 28.73 \text{ Exp}[-0.1014t] \dots\dots\dots(20)$$

②調質後

$$M = 31.57 \text{ Exp}[-0.1284t] \dots\dots\dots(21)$$

比較公式(20)與(21)之D值，可知調質作業可能影響乾燥常數。以同樣方式，比較50 °C，10分

鐘 / 50分鐘均化作業下，調質作業之影響亦有相同結果。

3.乾燥 / 均化時間與乾燥溫度之交互影響

由D值比較，可知在乾燥過程中，利用調質作業，可增加乾燥速率。兩種乾燥溫度下，各種作業條件之乾燥常數如表 1，2。由此結果，可歸納結論如下：

- (1)利用乾燥常數D值對於乾燥速率之比較更有意義。
- (2)調質作業對於調質後之乾燥速率有增加之作用。乾燥常數之增加比例值(D2/D1)與乾燥所用溫度無顯著相關。

三、調質乾燥對胴裂增加率之影響

乾燥作業中胴裂率代表乾燥樣本品質之變化。此研究中，以連續乾燥過程中胴裂率之增加比率以探討調質作業對乾燥性能之影響。

表 1. 乾燥溫度 40 °C，調質作業對於乾燥常數之影響

乾燥狀況 (乾燥 / 均化)	調質時間 (小時)	乾燥常數		
		全程或 調質作業前 D1	調質作業後 D2	比值 D2/D1
10/40	0	0.1268		
		0.1111		
15/45	0	0.1678		
		0.1631		
	2	0.162	0.186	1.148
		0.170	0.194	1.142
10/50	0	0.0803		
		0.0750		
		0.0701		
		0.0912		
	2	0.0781	0.1028	0.363
		0.081	0.1146	1.415
		0.0997	0.1157	1.160
		0.0707	0.0828	1.171
		0.0898	0.01071	1.215
		0.0780	0.0106	1.358
3	0.109	0.1323	1.214	
	0.1014	0.1284	1.266	
7.5/52.5	2	0.0958	0.1115	1.639
		0.0701	0.0861	1.210
3	3	0.0712	0.0935	1.358
		0.0665	0.0871	1.310
		0.0691	0.0905	1.309

在均化作業條件為 15 分鐘 / 45 分鐘狀況下，兩種乾燥溫度對胴裂增加率之影響圖示如圖 11。由圖可知，輕胴裂率之增加並不顯著，幾乎成穩定狀態。重胴裂率之增加率在最初 4 小時之增加率

並不大，但在4小時之後，胴裂率之增加急遽增大。乾燥溫度50°C比40°C之影響量愈大。

表 2. 乾燥溫度 50°C，調質作業對於乾燥常數之影響

乾燥狀況 (乾燥/均化)	調質時間 (小時)	乾燥常數		
		全程或 調質作業前 D1	調質作業後 D2	比值 D2/D1
10/40	0	0.1667		
		0.1422		
15/45	0	0.1844		
		0.1651		
	2	0.173	0.198	1.145
		0.180	0.201	1.167
10/50	0	0.0964		
		0.0911		
		0.0772		
		0.1052		
	2	0.0978	0.1311	1.340
		0.0963	0.1491	1.548
		0.1044	0.1251	1.198
		0.1051	0.1405	1.337
		0.1080	0.1210	1.120
		0.1030	0.1312	1.274
3	0.1326	0.1605	1.210	
	0.1396	0.1750	1.263	
	0.1155	0.1293	1.1195	
7.5/52.5	2	0.0901	0.1089	1.205
		0.1102	0.1298	1.108
3	0.0968	0.1151	1.189	
	0.1071	0.1169	1.092	

另一均化作業條件（10分鐘/50分鐘）下，調質作業2小時對胴裂增加率之影響如圖12所示。輕胴裂率之增加比例仍然有限。在調質作業前後，胴裂率仍然維持增加之趨勢。顯示以二小時之調質成業，在乾燥後期胴裂率仍持續增加，但胴裂率已比原傳統乾燥方式減少。在此10分鐘/50分鐘之均化作業下，調質作用對胴裂增加率之影響圖13。在二小時之調質作業時，胴裂率亦時續增加（過程a→b），但增加程度已比無調質乾燥處理較低。兩種處理之比較顯示調質處理可減少胴裂增加率。

兩種調質作業時間對胴裂增加率之影響如圖14。胴裂之增加趨勢亦在乾燥後期發生。3小時之調質時間使胴裂率之增加量稍少於原2小時之調質處理效果，但並未十分顯著。

在兩種均化作業（15分鐘/45分鐘，10分鐘/50分鐘），兩種乾燥溫度（40與50°C）下，調質時間為0（連線作業作業，無調質效果），2小

時與3小時之情況下，重胴裂率之增加率如圖15所示。其結果可說明如下：

1. 高均化時間比(10/50)比低均化時間比(15/

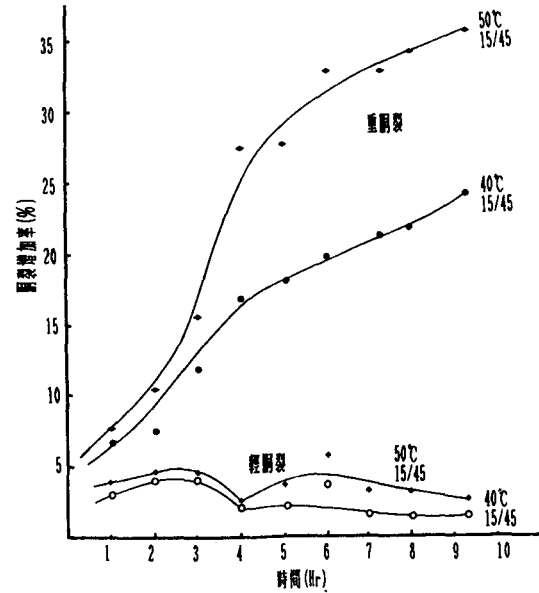


圖 11. 乾燥溫度對胴裂增加率之影響

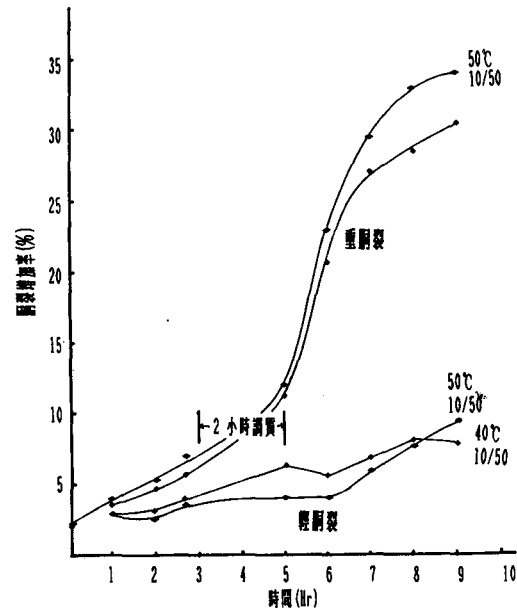


圖 12. 調質作業下之胴裂增加特性

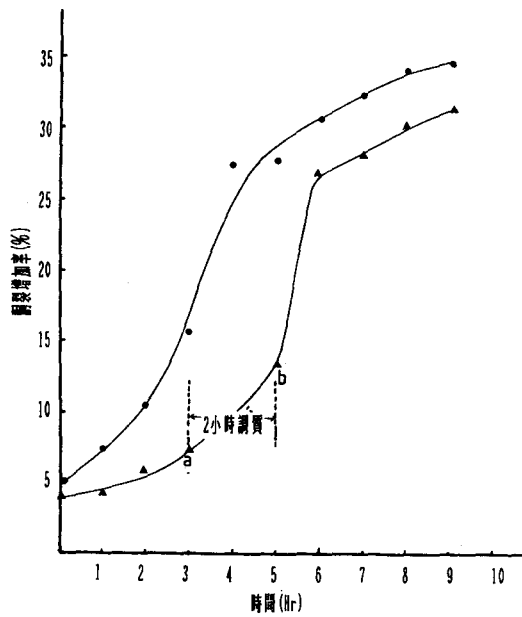


圖 13. 調質處理對於胴裂增加率之影響

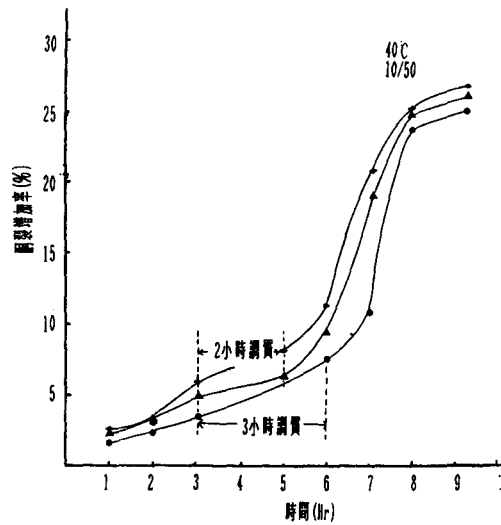


圖 14. 兩種調質作業時間對於胴裂增加率之影響

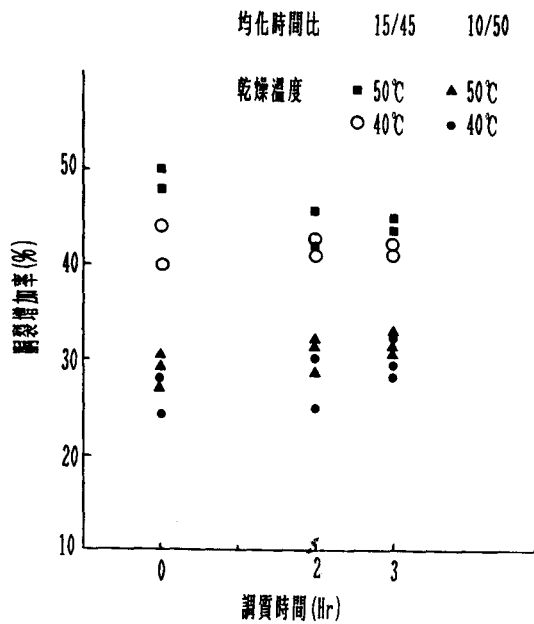


圖 15. 調質處理對於胴裂增加率之影響

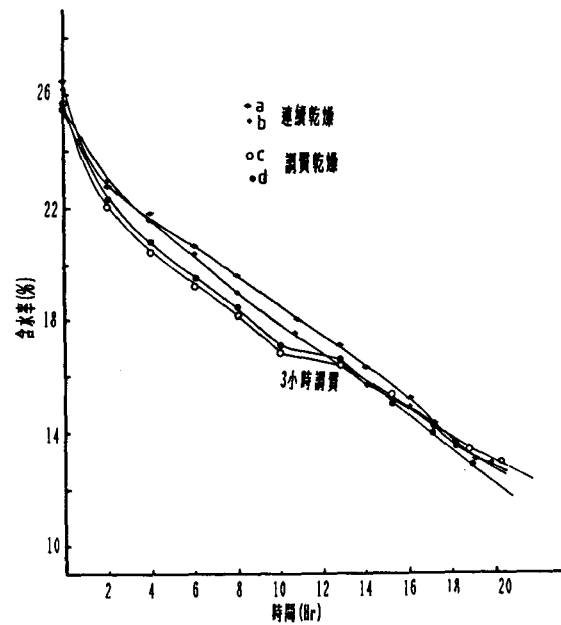


圖 16. 調質處理對於循環式乾燥機乾燥速率之影響

- 45) 有較低的重洞裂增加率，乾燥溫度較低(40℃)，洞裂率增加率愈少。
2. 對 40℃ 之乾燥溫度而言，調質作業對洞裂增加率影響性並不顯著。對 50℃ 之溫度而，利用調質作業，則有顯著降低洞裂增加率之效果。
3. 調質時間 2 或 3 小時，對重洞裂增加率之影響並不顯著。

四、調質乾燥對循環式乾燥機作業性能之影響

以 CL423-H300 型循環式乾燥機進行兩次連續乾燥和兩次調質處理 3 小時兩段乾燥作業。其乾燥性能曲線如圖 1 所示。各乾燥曲線之迴歸方程式計算乾燥常數。

(一) 連續乾燥：

圖 16 中曲線 a 之乾燥常數為 0.0331，曲線 b 之乾燥常數為 0.0354。

(二) 調質乾燥

圖 16 中曲線 C 在調質作業前乾燥常數 D1 為 0.0351，調質作業後 D2 值為 0.0523，曲線 D 在調質作業前乾燥常數 D1 為 0.0342，調質作業後 D2 為 0.0481。由乾燥常數 D 值之比值，可知利用調質作業對實際商用機型亦可增加乾燥能力。

四次試驗中乾燥機作業作能列於表 3。利用調質乾燥對商業用循環式乾燥機之乾燥性能影響如下：提高乾燥速率，減低耗油率，減少實際作業時間，但對洞裂率之影響效果因量測數據不足尚無法加以結論。乾燥機之實地試驗所需穀物數量極大，因此實驗之執行十分困難。此方面之實地驗證，仍需持續進行。

表 3. 調質作業對於循環式乾燥機作業性能影響

NO.	調質時間 小時	作 業 性 能			實際作業時間 (hr) (26%→13%)
		全程作業之 乾燥速率 (%/Hr)	耗油率 (Kg/Ton-%)	洞裂增加率 (%)	
1	0	0.66	0.66	3.6	19.0
2	0	0.75	0.59	4.2	19.3
3	3	0.81	0.55	3.2	17.5
4	3	0.79	0.54	3.3	18.0

結 論

綜合上述研究結果，所得結論如下：

1. 以平衡相對溼度概念所量測稻穀乾燥後均化所需時間與含水率為二項方程式之關係。稻穀含水率 18-20 % 時，均化時間約需 2-3 小時。
2. 以指數方程式定義乾燥曲線，並以參數為乾燥常數以比較乾燥速率有學理與實用意義。利用乾燥常數之比較可知調質作業能促進乾燥速率。
3. 高溫乾燥 (50℃) 下，進行調質作業後，可減少洞裂增加率，低溫作業 (40℃) 對洞裂增加率之影響則並不十分顯著。
4. 利用調質處理，兩段乾燥技術對於循環式乾燥機之作業性能影響可提高乾燥機率，減少耗油量並減少實際作業時間。

參考文獻

1. 陳加忠，曹之祖。1990a。電子相對濕度計之性能評估。農工學報 36(4):79-96
2. 陳加忠，曹之祖。1990b。稻穀平衡相對濕度性能之研究。中華農業研究 39(4):347-366
3. 陳加忠，曹之祖。1992。稻穀平衡相對濕度物性影響因子之研究。中華農業研究 42(2):225-236。
4. 陳加忠，雷鵬魁，曹之祖，陳志昇。1995。循環式乾燥機控制系統之研究。農機學刊 4(4):75-86。
5. 陳貽倫。1993。乾燥條件對稻穀碾米率之影響。農機學刊：2(1):23-30。
6. 陳憲民。1993。熱風溫度與通風量對稻穀乾燥的影響。碩士論文。台北。台大農機工程學研究所。
7. Parti, M. 1993. Selection of mathematical models for drying sgrain in thin-layers. J. Agri. Enging. Res. 54: 339-352.
8. Sabbath, M. A., G. H. Foster, C. G. Haugh and R. M. Pearct. 1972. Effect of tempering after drying on cooling shelled corn. Trans. of the ASAE 15(4):736-765.
9. Steffe, J. F and R. P. Singh. 1980a. Liquid diffusivity of rough rice components. Trans. of the ASAE 23:767-774, 782.
10. Steffe, J. F. and R. P. Singh. 1980b. Theoretical and practical aspects of rough rice tempering. Trans. of the ASAE 23:775-784.
11. 久保田 興太郎。1986。乾燥機の的確存利用。機械化農業 9 月號：6-17。

收稿日期：85 年 5 月 8 日

修正日期：85 年 6 月 17 日

接受日期：85 年 8 月 6 日